



ΕΛΛΗΝΙΚΗ ΔΗΜΟΚΡΑΤΙΑ
ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΚΡΗΤΗΣ

Προχωρημένα Εργαστήρια Φυσικής Ι

Ελευθέριος Ηλιόπουλος

Τμήμα Φυσικής

Πείραμα Χ Απαριθμητής Geiger-Müller

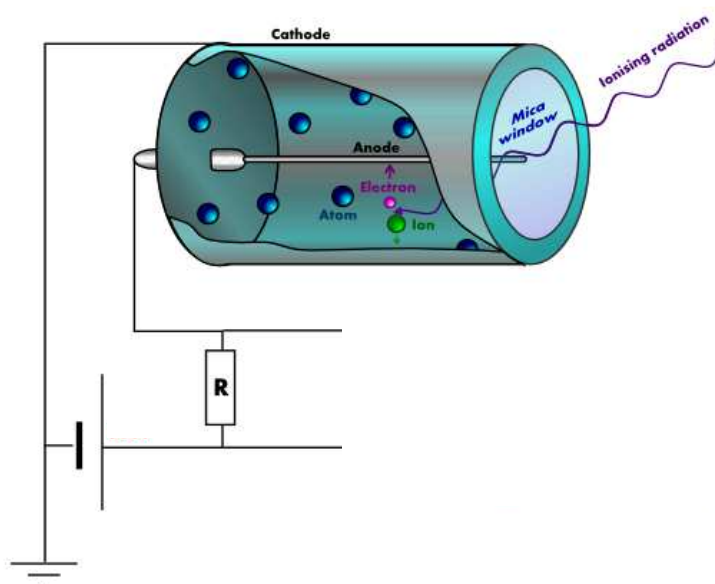
Σκοπός της άσκησης είναι η κατανόηση του τρόπου λειτουργίας του απαριθμητή Geiger-Müller, η εύρεση του οροπέδιου λειτουργίας του, η μέτρηση του νεκρού χρόνου του συστήματος (με τη χρήση μεθοδολογίας δύο πηγών) και η μέτρηση της απόδοσης του απαριθμητή. Επίσης η χρήση του απαριθμητή για τον προσδιορισμό του μαζικού συντελεστή απορρόφησης φωτονίων γ-ακτινοβολίας για τις περιπτώσεις του μολύβδου (Pb) και του αλουμινίου (Al).

Θεωρητικό μέρος

Ανιχνευτές τύπου “ιονισμού αερίου”

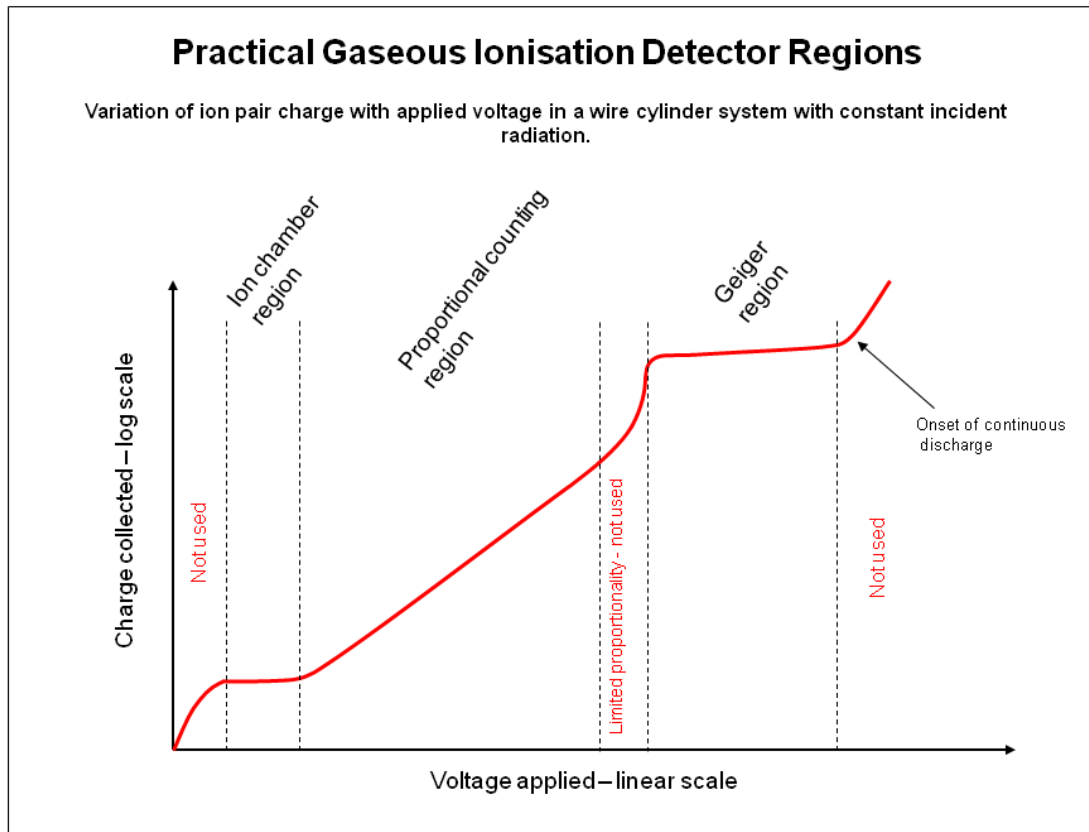
Ο απαριθμητής Geiger-Müller αποτελεί περίπτωση ανιχνευτή ακτινοβολίας τύπου “ιονισμού αερίου” (gaseous ionization detectors). Τέτοιου τύπου ανιχνευτές είναι επίσης ο ανιχνευτής θαλάμου ιονισμού και ο αναλογικός απαριθμητής. Η βασική σχεδιαστική αρχή αυτών των ανιχνευτών είναι ίδια. Ουσιαστικά πρόκειται για ένα θάλαμο που περιέχει αέριο (σε μικρή πίεση) και ένα μονωμένο, από τα τοιχώματα του θαλάμου, κεντρικό ηλεκτρόδιο. Στον όγκο του αερίου εφαρμόζεται ηλεκτρικό πεδίο, με την εφαρμογή διαφοράς δυναμικού μεταξύ των τοιχωμάτων του θαλάμου (κάθοδος) και του κεντρικού ηλεκτροδίου (άνοδος). Η ιονίζουσα ακτινοβολία (όπως α-, β- ή γ-ακτινοβολία ή ακτίνες-X) εισέρχονται στον θάλαμο του αερίου μέσω λεπτού τοιχώματος (παραθύρου) από κατάλληλο υλικό (π.χ. μίκα) και προκαλούν ιονισμό των ατόμων του αερίου. Τα ιόντα και τα ηλεκτρόνια που δημιουργούνται επιταχύνονται λόγω της παρουσίας του ηλεκτρικού πεδίου. Τα παραγόμενα φορτισμένα σωματίδια, λόγω της ύπαρξης ηλεκτρικού πεδίου, μετακινούνται προς τα αντίστοιχα ηλεκτρόδια, με αποτέλεσμα την δημιουργία ρεύματος (σήμα).

Η βασικές διαφορές μεταξύ των διαφορετικών τύπων ανιχνευτών ιονισμού αερίου, έγκειται στο μέτρο της εφαρμοζόμενης τάσης και στην διαμόρφωση του ηλεκτρονικού συστήματος επεξεργασίας του σήματος εξόδου.



Σχήμα 1: Σχηματική αναπαράσταση σωλήνα ανιχνευτή ιονισμού αερίου (πηγή: wikipedia.org)

Η ένταση του ρεύματος που ανιχνεύεται μεταξύ ανόδου-καθόδου (όταν έχουμε κλειστό κύκλωμα) εξαρτάται από την ιονιστική ικανότητα της ακτινοβολίας, το μήκος ελεύθερης διαδρομής μέσα στον ανιχνευτή και από την εφαρμοζόμενη τιμή της (υψηλής) τάσης μεταξύ ανόδου-καθόδου, ή οποία καθορίζει το μέτρο του ηλεκτρικού πεδίου και κατά συνέπεια τα φαινόμενα δευτερογενή ιονισμού.



Σχήμα 2: Χαρακτηριστική καμπύλη λειτουργίας ανιχνευτή αερίου (πηγή: wikipedia.org)

Έτσι ανάλογα με το μέτρο της τάσης αυτής διακρίνονται πέντε περιοχές λειτουργίας:

(α) Περιοχή επανασύνδεσης:

η τάση είναι μικρή, το ηλεκτρικό πεδίο ασθενές και ένα μέρος από τα παραγόμενα ιόντα ουδετεροποιούνται πριν να συλλεχθούν στα ηλεκτρόδια. Όσο αυξάνει η ένταση του πεδίου, τόσο αυξάνει η ταχύτητα ολίσθησης των ιόντων, οπότε αυξάνεται και η ένταση του ρεύματος.

(β) Περιοχή "θαλάμου ιονισμού" (Ion chamber region):

Από μια τιμή της τάσης και μετά όλα τα παραγόμενα ιόντα συλλέγονται στα ηλεκτρόδια οπότε το ρεύμα διατηρείται για κάποιο διάστημα σταθερό.

(γ) Περιοχή "αναλογικού απαριθμητή" (Proportional counting region):

Αν η τάση αυξηθεί ακόμη περισσότερο τα πρωτεύοντα ιόντα επιταχύνονται αρκετά μέσα στον θάλαμο και έτσι αποκτούν ενέργεια ικανή για να προκαλέσουν περαιτέρω ιονισμό. Έτσι η διαδικασία πολλαπλασιασμού παίρνει τη μορφή «χιονοστιβάδας» (Townshend avalanche). Η χιονοστιβάδα σταματά όταν όλα τα ελεύθερα ηλεκτρόνια συγκεντρωθούν στην άνοδο. Με κατάλληλη εκλογή των χαρακτηριστικών του θαλάμου, ο αριθμός των δευτερευόντων ιονισμών μπορεί να

διατηρηθεί ανάλογος του πρωτεύοντος ιονισμού (άρα και της απώλειας ενέργειας της ακτινοβολίας στον θάλαμο).

(δ) Περιοχή απαριθμητή Geiger-Müller (Geiger region):

Περαιτέρω αύξηση της τάσης οδηγεί στα εξής φαινόμενα: σε μια τυπική χιονοστιβάδα Townshend, που προκλήθηκε από ένα αρχικό ηλεκτρόνιο, δημιουργούνται – εκτός από τα δευτερογενή ιόντα- και πολλά διεγερμένα μόρια αερίου λόγω των ηλεκτρονικών συγκρούσεων. Μέσα σε χρονικό διάστημα συνήθως λίγων nanoseconds αυτά τα διεγερμένα μόρια επιστρέφουν στην βασική κατάσταση εκπέμποντας φωτόνια στο ορατό ή στο υπεριώδες. Αν ένα από τα φωτόνια αντιδράσει μέσω του φωτοηλεκτρικού φαινομένου με το αέριο, ένα νέο ηλεκτρόνιο απελευθερώνεται το οποίο προχωρώντας προς την άνοδο μπορεί να προκαλέσει νέα χιονοστιβάδα. Επειδή ο χρόνος ζωής των διεγερμένων μορίων είναι μικρός και τα φωτόνια ταξιδεύουν με την ταχύτητα του φωτός, αυτό το δευτερεύον ηλεκτρόνιο μπορεί να θεωρηθεί ότι δημιουργήθηκε σχεδόν ταυτόχρονα με την αρχική χιονοστιβάδα. Η συνολική διαδικασία παίρνει λιγότερο από ένα microsecond. Η αλυσιδωτή αυτή διαδικασία διακόπτεται χάρη στα θετικά ιόντα που δημιουργούνται μαζί με τα ηλεκτρόνια σε μία χιονοστιβάδα. Η κινητικότητα αυτών των θετικών ιόντων γίνεται αρκετά ψηλή, η παρουσία τους αρχίζει να αλλάζει το μέγεθος του ηλεκτρικού πεδίου στην περιοχή της ανόδου, έως ότου το πεδίο υποβιβασθεί κάτω από το κατώφλι πολλαπλασιασμού φορτίου οπότε σταματάει αυτή η αλυσιδωτή διαδικασία που λέγεται εκκένωση Geiger (Geiger discharge). Για ένα δεδομένο πεδίο, το σημείο στο οποίο σταματά η εκκένωση είναι πάντα το ίδιο, με την έννοια ότι ο ίδιος αριθμός θετικών ιόντων χρειάζεται πάντα για να ελαττώσει το πεδίο κάτω από αυτό το κατώφλι πολλαπλασιασμού φορτίου. Έτσι τελικά κάθε εκκένωση τελειώνει μετά από την συγκέντρωση του ίδιου συνολικού φορτίου δηλ. έχουμε το ίδιο ύψος παλμού εξόδου, ανεξάρτητα από τον αριθμό των πρωτεύοντων ζευγών ιόντων που δημιουργήθηκαν από την προσπίπτουσα ακτινοβολία. Έτσι όπως φαίνεται και στο αντίστοιχο τμήμα του σχήματος 7, μια τυπική καμπύλη του Geiger-Muller χαρακτηρίζεται από ένα «οροπέδιο ή plateau» με κλίση K . Η τιμή της κλίσης αυτής είναι το μέτρο αξίας του απαριθμητή και είναι κάτω του 5% ανά 100 Volt, για έναν καλό απαριθμητή. Σαν τάση λειτουργίας λαμβάνεται συνήθως το μέσο του plateau. Κόπωση του απαριθμητή έχει σαν αποτέλεσμα την αύξηση της τάσης κατωφλίου (δηλ. του σημείου όπου ξεκινάει το plateau), την ελάττωση του μήκους του (περιοχή τιμών τάσης) και εμφάνιση πολλαπλών παλμών σε χαμηλές τάσεις.

(ε) Περιοχή αυτοτελούς εκκένωσης (Continuous discharge):

Στην περίπτωση πολύ υψηλού ηλεκτρικού πεδίου (πέρα από το όριο κατάρρευσης διηλεκτρικού του αερίου) είναι δυνατόν να δημιουργούνται αυτοτελείς ιονισμοί των ατόμων του αερίου, χωρίς την πρόσπτωση ιονίζουσας ακτινοβολίας.

Νεκρός χρόνος απαριθμητή Geiger-Müller

Ως “νεκρός χρόνος” t_d ενός ανιχνευτή ακτινοβολίας ορίζεται ο ελάχιστος χρόνος που απαιτείται, μετά από την διέγερση του ανιχνευτή από σωματίδιο ιονίζουσας ακτινοβολίας, για να επανέλθει ο ανιχνευτής στις αρχικές συνθήκες και να μπορεί να ανιχνεύσει το επόμενο σωματίδιο ως ξεχωριστό γεγονός. Στην περίπτωση του απαριθμητή Geiger-Müller, ο νεκρός χρόνος εξαρτάται από τη αδράνεια του απαριθμητή δηλ. τον χρόνο κατά τον οποίο δεν μπορούν να προκληθούν εκκενώσεις μέσα σε αυτόν, λόγω του υποβιβασμού της έντασης του πεδίου που προαναφέρθηκε από την συγκέντρωση φορτίων χώρου από την εκκένωση.

Ο νεκρός χρόνος επηρεάζει τον καταμετρούμενο ρυθμό σωματιδίων (αριθμός σωματιδίων ανά μονάδα χρόνου) και απαιτείται διόρθωση στις μετρήσεις για την εύρεση του πραγματικού ρυθμού που προσπίπτουν στον απαριθμητή.

Έτσι έστω R_{rl} ο πραγματικός ρυθμός σωματιδίων που προσπίπτουν στον

καταμετρητή και R_{obs} ο καταμετρούμενος ρυθμός, δηλαδή $R_{obs} = \frac{N_{obs}}{t_{obs}}$ όπου N_{obs} ο

αριθμός των σωματιδίων που καταμετρήθηκαν σε χρόνο παρατήρησης t_{obs} . Καθώς κάθε φορά που ο απαριθμητής καταγράφει ένα σωματίδιο, μένει ανενεργός για χρόνο ίσο με τον νεκρό χρόνο t_d , είναι φανερό ότι ο ανιχνευτής δεν καταγράφει το σύνολο των προσπιπτόντων σωματιδίων, καθώς παρέμενε "τυφλός" για συνολικό χρόνο $N_{obs} \cdot t_d$ κατά την διάρκεια του χρόνου παρατήρησης t_{obs} . Έτσι το ποσοστό p των συνολικών προσπιπτόντων σωματιδίων που καταγράφεται είναι:

$$p = \frac{t_{obs} - N_{obs} \cdot t_d}{t_{obs}} \Rightarrow p = 1 - R_{obs} \cdot t_d$$

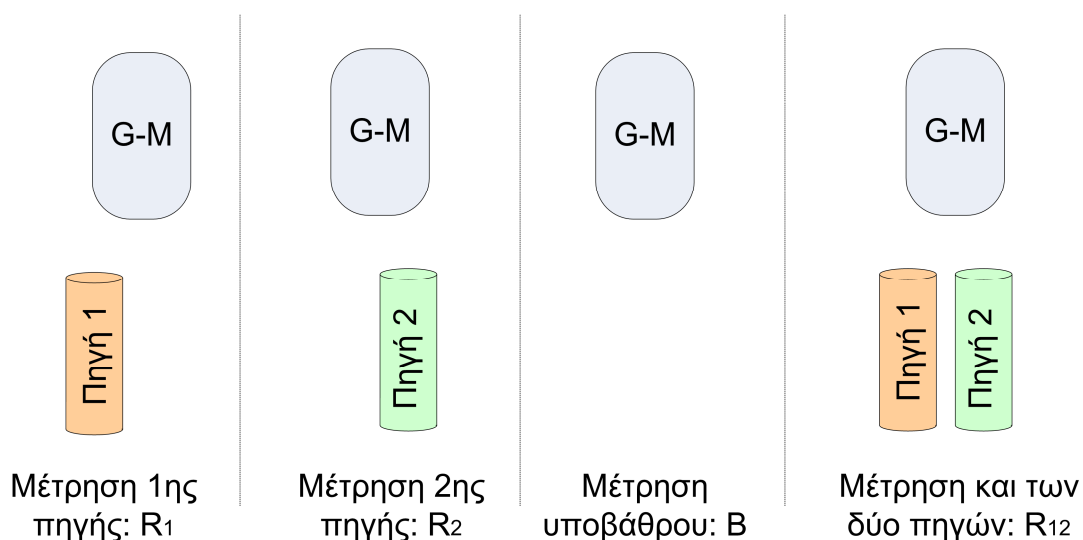
και άρα η σχέση του πραγματικού ρυθμού από τον παρατηρούμενο είναι:

$$R_{obs} = R_{rl} \cdot (1 - R_{obs} \cdot t_d) \quad \text{ή} \quad R_{rl} = \frac{R_{obs}}{(1 - R_{obs} \cdot t_d)} \quad (\text{Εξ.1})$$

Η παραπάνω σχέση μας επιτρέπει να διορθώνουμε τις μετρήσεις του απαριθμητή, αν είναι γνωστός ο νεκρός χρόνος αυτού, με σκοπό την εύρεση του πραγματικού ρυθμού και αυτό ονομάζεται "διόρθωση νεκρού χρόνου".

Μεθοδολογία προσδιορισμού νεκρού χρόνου

Για τον προσδιορισμό του νεκρού χρόνου μπορεί να χρησιμοποιηθεί η μεθοδολογία που βασίζεται στην χρήση δύο ραδιενεργών πηγών που μετρούνται, από τον απαριθμητή G-M, τόσο ταυτόχρονα όσο και ξεχωριστά η καθεμία. Η μεθοδολογία αυτή παρουσιάζεται σχηματικά στο Σχ.3.



Σχήμα 3: Μεθοδολογία μετρήσεων για τον προσδιορισμό του νεκρού χρόνου G-M με την χρήση δύο πηγών.

Έτσι σύμφωνα με την μεθοδολογία αυτή μετρούνται οι ρυθμοί καταμέτρησης για την κάθε πηγή ξεχωριστά καθώς και ο ρυθμός για τις δύο πηγές ταυτόχρονα. Πρέπει επίσης να μετρηθεί ο ρυθμός υποβάθρου, δηλαδή χωρίς καμία πηγή

μπροστά στον απαριθμητή (εν γένει πάντα καταγράφεται κάποιος ρυθμός πρόσπτωσης σε έναν ανιχνευτή λόγω κοσμικής ακτινοβολίας, ραδιενέργειας περιβάλλοντος χώρου κ.τ.λ.). Έστω ότι:

- R_{rl}^1 : ο πραγματικός ρυθμός σωματιδίων στον G-M λόγω της πηγής 1
- R_{obs}^1 : ο παρατηρούμενος ρυθμός σωματιδίων στον G-M μόνο με την πηγή 1
- R_{rl}^2 : ο πραγματικός ρυθμός σωματιδίων στον G-M λόγω της πηγής 2
- R_{obs}^2 : ο παρατηρούμενος ρυθμός σωματιδίων στον G-M μόνο με την πηγή 2
- B_{rl} ο πραγματικός ρυθμός σωματιδίων στον G-M λόγω υποβάθρου
- B_{obs} ο παρατηρούμενος ρυθμός σωματιδίων στον G-M λόγω υποβάθρου
- R_{rl}^{12} : ο πραγματικός ρυθμός σωματιδίων στον G-M με τις πηγές 1 και 2
- R_{obs}^{12} : ο παρατηρούμενος ρυθμός σωματιδίων στον G-M με τις πηγές 1 και 2

Καθώς θα είναι:

$$R_{rl}^1 + R_{rl}^2 = R_{rl}^{12} + B_{rl}$$

οπότε:

$$\frac{R_{obs}^1}{1 - t_d \cdot R_{obs}^1} + \frac{R_{obs}^2}{1 - t_d \cdot R_{obs}^2} = \frac{R_{obs}^{12}}{1 - t_d \cdot R_{obs}^{12}} + \frac{B_{obs}}{1 - t_d \cdot B_{obs}}$$

Επιλύοντας για τον νεκρό χρόνο βρίσκουμε:

$$t_d = \frac{R_{obs}^1 + R_{obs}^2 - R_{obs}^{12} - B_{obs}}{2 \cdot (R_{obs}^1 - B_{obs}) \cdot (R_{obs}^2 - B_{obs})}$$

Λαμβάνοντας υπόψιν το ότι ο ρυθμός υποβάθρου είναι πολύ μικρότερος των ρυθμών που οφείλεται στις πηγές, καταλήγουμε:

$$t_d = \frac{R_{obs}^1 + R_{obs}^2 - R_{obs}^{12} - B_{obs}}{2 \cdot R_{obs}^1 \cdot R_{obs}^2} \quad (\text{Εξ.2})$$

Για τον προσδιορισμό του νεκρού χρόνου με την μεθοδολογία αυτή απαιτείται πολύ προσοχή σε δύο σημεία:

(α) Θα πρέπει η γεωμετρική θέση της κάθε πηγής ως προς τον απαριθμητή να είναι ακριβώς η ίδια τόσο στην περίπτωση που την μετράμε ξεχωριστά όσο και στην περίπτωση που την μετράμε ταυτόχρονα με την άλλη πηγή, ώστε ο ρυθμός σωματιδίων, που φτάνουν στον απαριθμητή από αυτήν, να μην μεταβάλλεται.

(β) Θα πρέπει οι χρόνοι καταμέτρησης σε κάθε περίπτωση να είναι αρκετά μεγάλοι, ώστε το σχετικό σφάλμα μέτρησης του αντίστοιχου ρυθμού να είναι μικρό. Σε αντίθετη περίπτωση, το προκύπτον σφάλμα υπολογισμού του νεκρού χρόνου μπορεί να είναι μεγαλύτερο από την πραγματική τιμή του.

Υπενθυμίζεται ότι για την περίπτωση καταμέτρησης N σωματιδίων από ραδιενεργή πηγή το σφάλμα της μέτρησης (λόγω στατιστικής της εκπομπής σωματιδίων από τους ραδιενεργούς πυρήνες) είναι $\delta N = \sqrt{N}$. Κατά συνέπεια, αν

t ο χρόνος παρατήρησης και $R = \frac{N}{t}$ ο παρατηρούμενος ρυθμός, είναι:

$$\frac{\delta R}{R} = \frac{1}{\sqrt{R \cdot t}} \quad (\text{Εξ.3})$$

Ενεργότητα ραδιενεργής πηγής-Νόμος ραδιενεργών διασπάσεων

Ενεργότητα (activity) ραδιενεργής πηγής ορίζεται ο αριθμός των ραδιενεργών διασπάσεων ανά μονάδα χρόνου.

Μονάδα της ενεργότητας στο σύστημα SI είναι το Becquerel (Bq) που αντιστοιχεί σε μία ραδιενεργή διάσπαση σε ένα δευτερόλεπτο. Έτσι $1 \text{ Bq} = 1 \text{ s}^{-1}$.

Η ενεργότητα ενός ραδιενεργού παρασκευάσματος (που διασπάται με απλή διαδικασία προς σταθερό ισότοπο) μειώνεται εκθετικά με το χρόνο:

$$S(t) = S_0 \cdot e^{-\frac{t \cdot \ln 2}{t_{1/2}}} \quad (\text{Εξ.4})$$

όπου $S(t)$ η ενεργότητα την χρονική στιγμή $t > 0$, S_0 η ενεργότητα την χρονική στιγμή μηδέν και $t_{1/2}$ ο χρόνος ημιζώης, χαρακτηριστικός του ραδιενεργού ισότοπου.

Απόδοση απαριθμητή G-M – Μεθοδολογία μέτρησης της

Μόνο ένα μέρος των προσπίπτοντων σωματιδίων ιονίζουσας ακτινοβολίας σε έναν απαριθμητή G-M καταμετράτε. Αυτό οφείλετε στο γεγονός ότι ένα μέρος των σωματιδίων απορροφάται από το παράθυρο του ανιχνευτή (ιδιαίτερα στις περιπτώσεις α- και β-ακτινοβολίας) ή στο γεγονός ότι σωματίδια μπορούν να διέλθουν από το σωλήνα του ανιχνευτή χωρίς να αλληλεπιδράσουν με τα μόρια του αερίου και να διαφύγουν (που συμβαίνει κυρίως στην περίπτωση γ-ακτινοβολίας ή ακτίνων-X). Το ποσοστό των προσπιπτόντων σωματιδίων που καταμετράται (λαμβάνοντας υπόψη και την διόρθωση νεκρού χρόνου) δηλαδή το ποσοστό των σωματιδίων που αλληλεπιδρούν με μόρια του αερίου, και μπορούν δυνητικά να προκαλέσουν παλμό σήματος στην έξοδο, περιγράφεται από το χαρακτηριστικό "**απόδοση**" a του απαριθμητή:

$$a = \frac{R_{rl}}{R_{true}} \quad (\text{Εξ.5})$$

όπου:

R_{rl} : ο καταμετρούμενος ρυθμός (με την διόρθωση νεκρού χρόνου)

R_{true} : ο πραγματικός ρυθμός προσπίπτοντων σωματιδίων

θεωρώντας μονοενεργειακή δέσμη ιονίζοντων σωματιδίων συγκεκριμένου τύπου.

Η απόδοση ενός συγκεκριμένου ανιχνευτή δεν έχει μία τιμή, καθώς το μέγεθος της εξαρτάται τόσο από το τύπο ακτινοβολίας, όσο και από την ενέργεια των σωματιδίων. Ανάλογα με την περίπτωση, η απόδοση του G-M μπορεί να είναι πολύ μικρή, ακόμα και $\sim 1\%$.

Η μέτρηση της απόδοσης μπορεί να γίνει με την μέτρηση πηγής γνωστής ενεργότητας, συγκρίνοντας τον καταμετρούμενο ρυθμό με αυτόν που είναι αναμενόμενος, λαμβάνοντας υπόψη την ενεργότητα της πηγής και την στερεά γωνία που "βλέπει" ο ανιχνευτής, όπως φαίνεται στο Σχ.4.

Έτσι αν:

S η ενεργότητα της πηγής την στιγμή της μέτρησης

d η απόσταση ανιχνευτή-πηγής

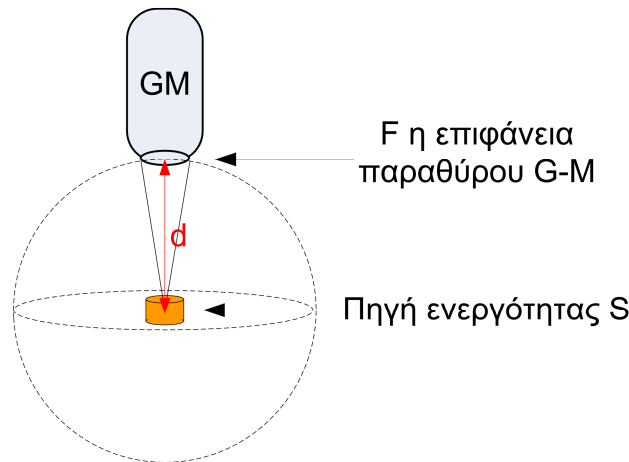
F το εμβαδό της επιφάνειας του παραθύρου του ανιχνευτή

t_d ο νεκρός χρόνος του απαριθμητή και

R_{obs} ο καταμετρούμενος ρυθμός

η απόδοση a_{GM} υπολογίζεται:

$$a_{GM} = \frac{R_{obs}}{1 - R_{obs} \cdot t_d} \cdot \frac{4 \cdot \pi \cdot d^2}{S \cdot F} \quad (\text{Εξ.6})$$




Σχήμα 4: Γεωμετρία μεθοδολογίας εύρεσης της απόδοσης απαριθμητή G-M

Απορρόφηση γ-ακτινοβολίας / Συντελεστής απορρόφησης

Σχετικά με την αλληλεπίδραση της γ-ακτινοβολίας με την ύλη και τους συντελεστές απορρόφησης κοιτάξετε τις σχετικές παραγράφους των σημειώσεων του Πειράματος VIII-“Φασματοσκοπία ακτίνων-Χ” (Απορρόφηση ακτίνων-Χ και Νόμος απορρόφησης ακτίνων-Χ). Λάβετε υπόψιν ότι, όπως και στην περίπτωση των ακτίνων-Χ, η βασική αλληλεπίδραση γ-ακτινοβολίας, με ενέργειες σχετικές με αυτές του παρόντος πειράματος, είναι μέσω του φωτοηλεκτρικού φαινομένου.

Πειραματική διαδικασία και Ανάλυση μετρήσεων

	<p>ΠΡΟΣΟΧΗ!</p> <ul style="list-style-type: none">• Μην πιάνετε τις ραδιενεργές πηγές με τα χέρια• Μην καταναλώνετε τρόφιμα ή υγρά κατά την διάρκεια της πειραματικής άσκησης• Πλύνετε προσεκτικά τα χέρια σας μετά την εκτέλεση της πειραματικής άσκησης.• Χρησιμοποιήστε όσο το δυνατόν φύλλα μολύβδου για την προστασία σας από τις ραδιενεργές πηγές.• Γενικά συμπεριφερθείτε προσεκτικά με τις ραδιενεργές πηγές. Αν και τα ραδιενεργά παρασκευάσματα που θα χρησιμοποιηθούν είναι σχετικά μικρής ενεργότητας και συσκευασμένα ή κατάποση ραδιενεργής σκόνης ή η επαφή της με το δέρμα, ακόμα και σε πολύ μικρές ποσότητες ενέχει κινδύνους για την υγεία σας.
---	--

Η συνολική πειραματική διάταξη που θα χρησιμοποιηθεί αποτελείται από τον σωλήνα Geiger-Müller, το τροφοδοτικό υψηλής τάσης, τον ηλεκτρονικό σύστημα καταμέτρησης παλμών/ρυθμού, δύο ραδιενεργά παρασκευάσματα (^{60}Co και ^{23}Na) και σειρά πλακιδίων απορροφητών Pb και Al βαθμονομημένων σε gr/cm^2 .

(α) Μελέτη της χαρακτηριστικής καμπύλης απαριθμητή G-M: Τοποθετήστε μπροστά από τον απαριθμητή G-M πηγή ^{60}Co και χρησιμοποιώντας χρόνο παρατήρησης 10 s (ανά σημείο) καταγράψτε τον καταμετρούμενο ρυθμό R σαν συνάρτηση της εφαρμοζόμενης τάσης V_{GM} στον απαριθμητή, για τάσεις από 300V έως 640V, με βήμα 20V. Για κάθε τιμή της τάσης πάρτε 5 μετρήσεις και υπολογίστε την μέση τιμή και το σφάλμα της μέτρησης. Κάντε το διάγραμμα R- V_{GM} και προσδιορίστε τα όρια του "οροπεδίου" του ανιχνευτή. Υπολογίστε την κλίση K (σε $V^{-1}s^{-1}$) του οροπεδίου και την προτιμώμενη τάση λειτουργίας.

(β) Προσδιορισμός "νεκρού χρόνου" του απαριθμητή G-M: Ακολουθήστε την μεθοδολογία προσδιορισμού του "νεκρού χρόνου" που περιγράφεται από την Εξ.2, χρησιμοποιώντας τις πηγές ^{60}Co και ^{23}Na . Χρησιμοποιήστε τάση λειτουργίας 480 V. Σε κάθε μία από τις 4 περιπτώσεις μετρήσεων που απαιτούνται πάρτε n=5 μετρήσεις ρυθμού R_i με χρόνο καταμέτρησης $t_0=60$ sec. Εξηγήστε γιατί η αναμενόμενη στατιστική διακύμανση δR του καταμετρούμενου ρυθμού στην περίπτωση αυτή είναι

$$\delta R = \frac{1}{n} \cdot \sqrt{\frac{\sum_i R_i}{t_0}} \quad (\text{Εξ.7})$$

και θεωρήστε αυτό σαν σφάλμα της κάθε μέτρησης.

Προσοχή, η σχετική θέση της κάθε πηγής ως προς τον ανιχνευτή δεν πρέπει να διαταραχθεί καθόλου κατά την διάρκεια αυτής της διαδικασίας. Για το λόγο αυτό τοποθετήστε πρώτα την 1η πηγή, πάρτε τις μετρήσεις R_i^1 , στην συνέχεια τοποθετήστε και την 2η πηγή, χωρίς να διαταράξετε την 1η πηγή ή τον απαριθμητή και πάρτε τις μετρήσεις R_i^{12} , ακολούθως αφαιρέστε προσεκτικά την 1η πηγή χωρίς να διαταράξετε την υπόλοιπη γεωμετρία και πάρτε τις μετρήσεις R_i^2 .

(γ) Προσδιορισμός απόδοσης απαριθμητή G-M: Τοποθετήστε σε απόσταση περίπου 10 cm από το παράθυρο του απαριθμητή την πηγή ^{60}Co , προσεκτικά έτσι ώστε ο διαμήκης άξονας του κύλινδρου κάνιστρου της πηγής να ευθυγραμμίζεται με το κέντρο του παραθύρου. Μετρήστε την απόσταση d του ραδιενεργού υλικού από το παράθυρο του ανιχνευτή. Χρησιμοποιώντας τάση λειτουργίας 480 V, πάρτε n=10 μετρήσεις ρυθμού R_i με χρόνο καταμέτρησης $t_0=10$ sec. Διορθώστε τον καταμετρούμενο ρυθμό σύμφωνα με τον νεκρό χρόνο που υπολογίσατε προηγουμένως. Υπολογίστε την μέση τιμή του καταμετρούμενου ρυθμού και το σφάλμα της μέτρησης από την Εξ.7. Δεδομένης της αρχικής ενεργότητας της πηγής, της ημερομηνίας παρασκευής της και τον χρόνο ημιζωής του ^{60}Co υπολογίστε την ενεργότητα της πηγής την ημερομηνία που εκτελέσατε το πείραμα. Από τα δεδομένα αυτά υπολογίστε την απόδοση του απαριθμητή G-M.

(δ) Υπολογισμός του μαζικού συντελεστή απορρόφησης του Pb: Χρησιμοποιώντας ξανά την πηγή ^{60}Co πάρτε μετρήσεις ρυθμού παρεμβάλλοντας μεταξύ πηγής-ανιχνευτή πλακίδια μολύβδου διαφορετικού πάχους. Χρησιμοποιήστε χρόνο καταμέτρησης 60 s. Διορθώστε τις μετρήσεις για την ακτινοβολία υποβάθρου, χρησιμοποιώντας τον ρυθμό ακτινοβολίας υποβάθρου που μετρήσατε στο μέρος (β). Κάντε διάγραμμα του $\ln R$ σαν συνάρτηση της ισοδύναμης επιφανειακής πυκνότητας (gr/cm^2) και υπολογίστε τον μαζικό συντελεστή απορρόφησης του μολύβδου.

(ε) Επαναλάβετε το μέρος (δ) με πλακίδια αλουμινίου και υπολογίστε τον μαζικό συντελεστή απορρόφησης του Al.

Σημειώματα

Σημείωμα αναφοράς

Copyright Πανεπιστήμιο Κρήτης, Ελ. Ηλιόπουλος, 2014. «Προχωρημένα Εργαστήρια Φυσικής Ι.». Έκδοση: 1.0. Ηράκλειο 2014. Διαθέσιμο από τη δικτυακή διεύθυνση: <https://opencourses.uoc.gr>.

Σημείωμα Αδειοδότησης

Το παρόν υλικό διατίθεται με τους όρους της άδειας χρήσης Creative Commons Αναφορά, Μη Εμπορική Χρήση, Όχι Παράγωγο Έργο 4.0 [1] ή μεταγενέστερη, Διεθνής Έκδοση. Εξαιρούνται τα αυτοτελή έργα τρίτων π.χ. φωτογραφίες, διαγράμματα κ.λ.π., τα οποία εμπεριέχονται σε αυτό και τα οποία αναφέρονται μαζί με τους όρους χρήσης τους στο «Σημείωμα Χρήσης Έργων Τρίτων».



[1] <http://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/>

Ως **Μη Εμπορική** ορίζεται η χρήση:

- που δεν περιλαμβάνει άμεσο ή έμμεσο οικονομικό όφελος από την χρήση του έργου, για το διανομέα του έργου και αδειοδόχο
- που δεν περιλαμβάνει οικονομική συναλλαγή ως προϋπόθεση για τη χρήση ή πρόσβαση στο έργο
- που δεν προσπορίζει στο διανομέα του έργου και αδειοδόχο έμμεσο οικονομικό όφελος (π.χ. διαφημίσεις) από την προβολή του έργου σε διαδικτυακό τόπο

Ο δικαιούχος μπορεί να παρέχει στον αδειοδόχο ξεχωριστή άδεια να χρησιμοποιεί το έργο για εμπορική χρήση, εφόσον αυτό του ζητηθεί.

Διατήρηση Σημειωμάτων

Οποιαδήποτε αναπαραγωγή ή διασκευή του υλικού θα πρέπει να συμπεριλαμβάνει:

- το Σημείωμα Αναφοράς
- το Σημείωμα Αδειοδότησης
- τη δήλωση Διατήρησης Σημειωμάτων
- το Σημείωμα Χρήσης Έργων Τρίτων (εφόσον υπάρχει)

μαζί με τους συνοδευόμενους υπερσυνδέσμους.

Χρηματοδότηση

- Το παρόν εκπαιδευτικό υλικό έχει αναπτυχθεί στα πλαίσια του εκπαιδευτικού έργου του διδάσκοντα.
- Το έργο «Ανοικτά Ακαδημαϊκά Μαθήματα στο Πανεπιστήμιο Κρήτης» έχει χρηματοδοτήσει μόνο τη αναδιαμόρφωση του εκπαιδευτικού υλικού.
- Το έργο υλοποιείται στο πλαίσιο του Επιχειρησιακού Προγράμματος «Εκπαίδευση και Δια Βίου Μάθηση» και συγχρηματοδοτείται από την Ευρωπαϊκή Ένωση (Ευρωπαϊκό Κοινωνικό Ταμείο) και από εθνικούς πόρους.

